МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 61000-4-27— 2016

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Часть 4-27

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к несимметрии напряжений для оборудования с потребляемым током не более 16 А на фазу

(IEC 61000-4-27:2009, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Закрытым акционерным обществом «Научно-испытательный центр «САМТЭС» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 29 февраля 2016 г. № 85-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2016 г. № 1465-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61000-4-27—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-4-27:2009 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-27. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к несимметрии напряжений для оборудования с потребляемым током не более 16 А на фазу» [«Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-27: Testing and measurement techniques — Unbalance, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase», IDT].

Международный стандарт IEC 61000-4-27:2009 подготовлен Подкомитетом 77А «Низкочастотные электромагнитные явления» Технического комитета ТК 77 IEC «Электромагнитная совместимость».

Настоящее объединенное издание стандарта IEC 61000-4-27:2009 включает в себя первое издание, опубликованное в 2000 г., и изменение 1 (2009 г.).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения и цель 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 2
5 Испытательные уровни 2
6 Испытательное оборудование 3
6.1 Испытательные генераторы 3
6.2 Проверка характеристик испытательных генераторов 4
7 Испытательная установка 4
8 Процедуры испытания 4
8.1 Опорные условия в лаборатории 4
8.2 Проведение испытаний 4
9 Оценка результатов испытаний 5
10 Отчет об испытаниях 5
Приложение А (справочное) Источники, воздействия и измерение несимметрии 8
Приложение В (справочное) Расчет степени несимметрии 11
Приложение С (справочное) Информация об испытательных уровнях 12
Приложение D (справочное) Классы электромагнитной обстановки 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 14
Библиография 15

Введение

Стандарты серии МЭК 61000 публикуются отдельными частями в соответствии со следующей структурой:

- часть 1. Общие положения:

общее рассмотрение (введение, фундаментальные принципы), определения, терминология;

- часть 2. Электромагнитная обстановка:

описание электромагнитной обстановки, классификация электромагнитной обстановки, уровни электромагнитной совместимости;

- часть 3. Нормы:

нормы электромагнитной эмиссии, нормы помехоустойчивости (в тех случаях, когда они не являются предметом рассмотрения техническими комитетами, разрабатывающими стандарты на продукцию);

- часть 4. Методы испытаний и измерений:

методы измерений, методы испытаний;

- часть 5. Руководства по установке и помехоподавлению:

руководства по установке, методы и устройства помехоподавления;

- часть 6. Общие стандарты;

- часть 9. Разное.

Каждая часть далее подразделяется на несколько частей, опубликованных либо в качестве международных стандартов или технических требований, или технических отчетов, некоторые из которых были уже опубликованы как разделы. Остальные будут опубликованы с указанием номера части, за которым следует дефис, а затем номер раздела (например, IEC 61000-6-1).

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Ч а с т ь 4-27

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к несимметрии напряжений для оборудования с потребляемым током не более 16 А на фазу

Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-27. Testing and measurement techniques. Unbalance, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase

Дата введения — 2017—06—01

1 Область применения и цель

Настоящий стандарт применяется к испытаниям на помехоустойчивость электрического и электронного оборудования (аппаратов и систем) в их электромагнитной обстановке. Рассмотрены только кондуктивные электромагнитные явления, в том числе связанные с испытаниями на помехоустойчивость оборудования, подключаемого к общественным и промышленным сетям.

Настоящий стандарт имеет целью установить общую основу для оценки помехоустойчивости электрического и электронного оборудования при несимметрии напряжений электропитания.

Требования настоящего стандарта применяют для электрического и электронного оборудования, подключаемого к трехфазным электрическим сетям переменного тока частотой 50 или 60 Гц, с номинальным потребляемым током не более 16 А на фазу.

Настоящий стандарт не распространяется на трехфазное оборудование с нейтралью, если это оборудование функционирует как группа однофазных нагрузок, подключенных между фазными и нейтральным проводами.

Настоящий стандарт не распространяется на электрическое и электронное оборудование, подключаемое к распределительным сетям переменного тока частотой 400 Гц.

Настоящий стандарт не включает в себя испытаний, относящихся к коэффициенту несимметрии напряжений по нулевой последовательности.

Испытательные уровни при испытаниях на помехоустойчивость, необходимые для конкретной электромагнитной обстановки, и критерии качества функционирования устанавливаются в общих стандартах, стандартах на продукцию конкретного вида или на группы однородной продукции с учетом применимости. При этом испытания на устойчивость в соответствии с настоящим стандартом должны быть включены в общие стандарты, стандарты на конкретную продукцию или группы однородной продукции, если существует вероятность снижения качества функционирования оборудования или невыполнения функции при несимметрии напряжений электропитания.

Проверка надежности электрических компонентов (конденсаторы, двигатели и т. д.) и длительные воздействия (более нескольких минут) в настоящем стандарте не рассматриваются.

2 Нормативные ссылки

Следующие нормативные документы содержат положения, которые посредством ссылок в данном тексте составляют положения настоящего стандарта. Для датированных ссылок последующие поправки или пересмотры любого из этих нормативных документов не применяют. Тем не менее сторонам соглашений, основанных на требованиях настоящего стандарта, рекомендуется изучить возможность

Издание официальное

применения последних изданий нормативных документов, указанных ниже. Для датированных ссылок применяют последнее издание нормативного документа.

IEC 60050-161, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Chapter 161: Electromagnetic compatibility

Международный электротехнический словарь. Глава 161. Электромагнитная совместимость

IEC 61000-2-4, Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 2: Environment — Section 4: Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances

Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2. Электромагнитная обстановка. Раздел 4. Уровни совместимости на промышленных предприятиях для низкочастотных кондуктивных помех

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **устойчивость (к электромагнитной помехе)** [immunity (to a disturbance)]: Способность устройства, оборудования или системы функционировать без ухудшения качества при наличии электромагнитной помехи.

[IEV 161-01-20]

3.2 **несимметрия напряжений** (voltage unbalance): Условия в многофазной системе, при которых среднеквадратичные значения фазных напряжений или углы сдвига между последовательными фазами не равны.

[IEV 161-08-09]

3.3 **коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности k_{u2}, %** [unbalance factor k_{u2} (%)]: Отношение составляющей обратной последовательности к составляющей прямой последовательности, измеренных в соответствии с методом симметричных составляющих на частоте сети (50 или 60 Гц)

$$k_{u2} = 100\% \ (U_2/U_1),$$

где U_2 — напряжение обратной последовательности;

U_1 — напряжение прямой последовательности.

Примечание — Напряжения обратной последовательности в сети в основном являются результатом обратных токов в сети, вызванных несимметричными нагрузками.

3.4 **нарушение функционирования** (malfunction): Прекращение способности оборудования выполнять функции по назначению или выполнение непредусмотренных функций.

4 Общие положения

Несимметрия напряжений может воздействовать на трехфазное электрическое и электронное оборудование. Приложение А описывает источники, воздействия и измерение помех этого вида.

Несимметрия вызывается как изменениями амплитуды напряжения, так и изменениями сдвига фаз. Формула для вычисления коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, основанная на указанных параметрах, приведена в приложении В.

Испытания проводят с целью исследовать влияние несимметрии в системе трехфазного напряжения на оборудование, восприимчивое к указанному виду помех, которые могут вызывать:

- перегрузки по току во вращающихся машинах переменного тока;
- генерацию нехарактерных гармоник в электронных силовых преобразователях;
- проблемы синхронизации или ошибки управления в блоках управления электрооборудования (см. приложение А).

5 Испытательные уровни

Испытуемое оборудование (ИО) питают стабильным сетевым напряжением и затем подвергают воздействию последовательностей несимметричных напряжений в соответствии с рисунком 2.

В таблице 1 приведены испытательные уровни, полученные в соответствии с описанием в приложении С.

Продолжительность испытания несимметричным напряжением, установленная от 0,1 до 60 с, может быть принята в качестве общего руководства для изучения кратковременных эффектов.

Таблица 1 — Испытательные уровни

Номер испытания	Испытательный уровень для класса 1	Испытательный уровень для класса 2					Испытательный уровень для класса 3					Испытательный уровень для класса X
		Фаза	Амплитуда, % U_N	Угол, °	k_{u2}, %	Время, с	Фаза	Амплитуда, % U_N	Угол, °	k_{u2}, %	Время, с	
Испытание 1	Испытание не проводят	U_a	100,0	0°	6	30	U_a	100,0	0°	8	60	
		U_b	95,2	125°			U_b	93,5	127°			
		U_c	90,0	240°			U_c	87,0	240°			
Испытание 2		U_a	100,0	0°	13	15	U_a	100,0	0°	17	15	
		U_b	90,0	131°			U_b	87,0	134°			
		U_c	80,0	239°			U_c	74,0	238°			
Испытание 3		U_a	110,0	0°	25	0,1	U_a	110,0	0°	25	2	
		U_b	66,0	139°			U_b	66,0	139°			
		U_c	71,0	235°			U_c	71,0	235°			

Примечание 1 — U_N — номинальное напряжение.

Примечание 2 — U_b запаздывает относительно U_a, а U_c опережает U_a.

Испытания определены для оборудования относительно уровней 2 и 3 соответственно по IEC 61000-2-4.

Технический комитет, разрабатывающий стандарты на продукцию, может устанавливать любой испытательный уровень, однако для устройств, подключаемых к общественным системам электроснабжения, рекомендуется, чтобы уровни были не ниже определенных для класса 2.

6 Испытательное оборудование

6.1 Испытательные генераторы

В конструкции генератора должны быть предусмотрены меры для исключения эмиссии значительных электромагнитных помех, которые при инжектировании в сеть электропитания могли бы повлиять на результаты испытаний.

Точность регулировки выходного напряжения ±1 % U_N, фазы ±0,3°.

Таблица 2 — Характеристики испытательного генератора

Характеристика генератора	Требование
Характеристика выходного напряжения	$U_{N-40\ \%}^{+15\ \%}$
Точность установки выходного напряжения	±2 % U_N
Нагрузочная способность по току	Достаточная для питания ИО при всех условиях испытаний
Положительный и отрицательный выбросы напряжения на выходе генератора на резистивной нагрузке 100 Ом	Менее 5 % изменения напряжения
Время нарастания и спада напряжения при его изменении, генератор нагружен на резистивную нагрузку 100 Ом	От 1 до 5 мкс
Общие гармонические искажения выходного напряжения (THD)	Менее 3 %
Сдвиг фаз	(0, 120, 240)° ± 30°
Точность установки фазы	1° между двумя любыми фазами
Точность установки частоты	0,5 % f_1 (50 или 60 Гц)

6.2 Проверка характеристик испытательных генераторов

Очевидно, что существует широкий спектр ИО и поэтому могут быть использованы испытательные генераторы с различной выходной мощностью, при необходимости.

Испытательный генератор должен быть проверен на соответствие характеристикам и требованиям, перечисленным в таблице 2. Качество функционирования испытательного генератора должно быть проверено с резистивными нагрузками, обеспечивающими среднеквадратичное значение тока, не превышающее выходной нагрузочной способности генератора.

Кроме того, выходная нагрузочная способность по току генератора должна быть проверена на возможность обеспечения коэффициента амплитуды не менее 3, когда U_N прикладывают к однофазной нагрузке, обеспечивающей среднеквадратичное значение тока, не превышающее выходной нагрузочной способности генератора.

Каждая выходная фаза генератора должна быть проверена по отдельности. Пример подходящей проверочной нагрузки 230 В/16 А приведен на рисунке 4.

7 Испытательная установка

Испытание должно проводиться с ИО, подключенным к испытательному генератору с помощью кабеля электропитания, установленного изготовителем ИО. Если длина кабеля не установлена, используют как можно более короткий кабель, пригодный для подключения ИО. Длина кабеля должна быть указана в отчете об испытаниях

На рисунке 3 приведена принципиальная схема для генерации несимметричного напряжения (изменения амплитуды или фазы) с использованием генератора с усилителем мощности.

В случае использования в схеме испытательного генератора трансформаторов и переключателей необходимо использовать переменные трансформаторы минимум в двух фазах.

Порты ИО должны быть подключены к соответствующим периферийным устройствам в соответствии с указанием изготовителя. При отсутствии периферийных устройств они могут быть заменены имитаторами.

8 Процедуры испытания

8.1 Опорные условия в лаборатории

Для того чтобы свести к минимуму влияние параметров окружающей среды на результаты испытаний, их следует проводить в климатических и электромагнитных нормальных условиях, как указано в 8.1.1 и 8.1.2.

8.1.1 Климатические условия

Если иное не установлено техническими комитетами, ответственными за разработку общих стандартов и стандартов на продукцию, климатические условия в лаборатории должны соответствовать всем предельным значениям, установленным соответствующими изготовителями для функционирования ИО и испытательного оборудования.

Испытания не проводят, если на поверхности ИО или испытательного оборудования из-за повышенной влажности возникает конденсация влаги.

Примечание — Если существуют достаточные основания считать, что явление, относящееся к области применения настоящего стандарта, вызывается климатическими условиями, то данные сведения должны быть приняты во внимание техническим комитетом, ответственным за разработку настоящего стандарта.

8.1.2 Электромагнитные условия

Электромагнитные условия в лаборатории не должны влиять на результаты испытаний.

8.2 Проведение испытаний

ИО должно быть сконфигурировано для его нормальных условий эксплуатации.

Испытания должны быть выполнены в соответствии с планом испытаний, в котором необходимо указать:

- номер испытания (см. таблицу 1);
- испытательный уровень;
- продолжительность испытания;
- порты, подвергнутые испытанию;
- представительные условия эксплуатации ИО;
- вспомогательное оборудование.

Параметры источника питания, сигналов и других функциональных электрических величин должны быть в пределах их номинального диапазона. При отсутствии фактических источников управляющего сигнала они могут быть смоделированы.

Для каждого испытательного уровня необходимо подавать минимум три несимметричных последовательности с интервалом не менее 3 мин между каждой (см. рисунок 2).

Применяемые уровни испытаний должны чередоваться следующим образом:

- первая последовательность: U_a к L1, U_b к L2, U_c к L3;
- вторая последовательность: U_a к L2, U_b к L3, U_c к L1;
- третья последовательность: U_a к L3, U_b к L1, U_c к L2,

где U_a, U_b и U_c (см. таблицу 1) — напряжения генератора, а L1, L2 и L3 — входы ИО.

Изменения напряжения питания должны происходить при нулевых пересечениях U_a. Выходное полное сопротивление испытательного генератора должно быть низким в установившемся состоянии и во время переходных периодов.

При проведении испытаний фиксируют каждое ухудшение качества функционирования ИО. Оборудование, используемое для мониторинга состояния ИО, должно быть способно отражать любые изменения режима и характеристик функционирования ИО как во время, так и после окончания испытаний. После завершения каждой группы испытаний проводят полную проверку функциональных характеристик ИО.

9 Оценка результатов испытаний

Результаты испытаний должны быть классифицированы с точки зрения прекращения выполнения функции или ухудшения качества функционирования ИО в сравнении с уровнем качества функционирования, определенным его изготовителем, заказчиком испытания или согласованным между изготовителем и покупателем продукции.

Рекомендуется следующая классификация:

A — нормальное качество функционирования в пределах, установленных изготовителем, заказчиком испытания или покупателем.

B — временное прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, которые исчезают после прекращения воздействия помех, с восстановлением нормального функционирования ИО без вмешательства оператора.

C — временное прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, коррекция которых требует вмешательства оператора.

D — прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, которые не являются восстанавливаемыми из-за повреждения оборудования (компонентов), нарушения программного обеспечения или потери данных.

В документации изготовителя могут быть установлены воздействия на ИО, которые могут рассматриваться как незначительные и, следовательно, допустимые.

Данная классификация может быть использована в качестве руководства при определении критериев качества функционирования техническими комитетами, ответственными за разработку общих стандартов, стандартов на продукцию конкретного вида и группы однородной продукции, или в качестве основы для соглашения о критериях качества функционирования между изготовителем и покупателем, если, например, не существует применимого общего стандарта, стандарта на продукцию конкретного вида или стандарта на группу однородной продукции.

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен содержать все сведения, необходимые для воспроизведения испытания. В частности, должно быть отражено следующее:

- пункты, установленные в плане испытаний, как указано в разделе 8;
- идентификация ИО и любого связанного с ним оборудования, например марка изготовителя, тип продукции, серийный номер;
- идентификация испытательного оборудования, например марка изготовителя, тип продукции, серийный номер;
- любые особые условия обстановки, в которой было проведено испытание, например экранированное помещение;
- любые особые условия, необходимые для проведения испытания;

- уровень качества функционирования, установленный изготовителем, заказчиком испытания или покупателем;
- критерий качества функционирования, установленный в общем стандарте, стандарте на продукцию или в стандарте на группу однородной продукции;
- любые результаты воздействия на ИО при испытании, наблюдаемые во время или после прекращения подачи помехи, и длительность наблюдения этих воздействий;
- обоснование решения «соответствует/не соответствует» (основанное на критерии качества функционирования, установленном в общем стандарте, стандарте на продукцию конкретного вида или в стандарте на группу однородной продукции, или в соглашении между изготовителем и покупателем);
- любые особые условия использования, например длина или тип кабеля, экранирование или заземление, или условия функционирования ИО, которые необходимы для достижения соответствия требованиям.

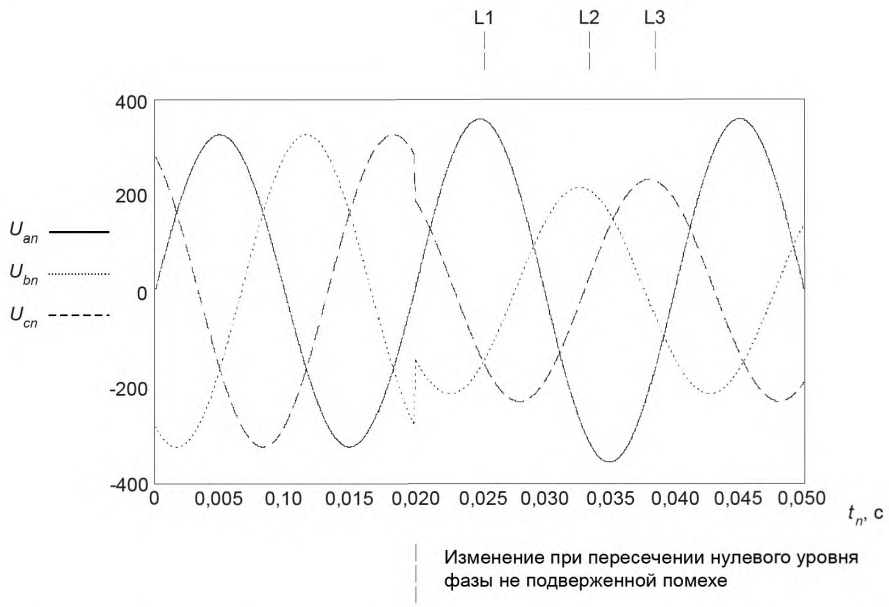


Рисунок 1 — Пример несимметричного трехфазного напряжения питания (испытание 3)

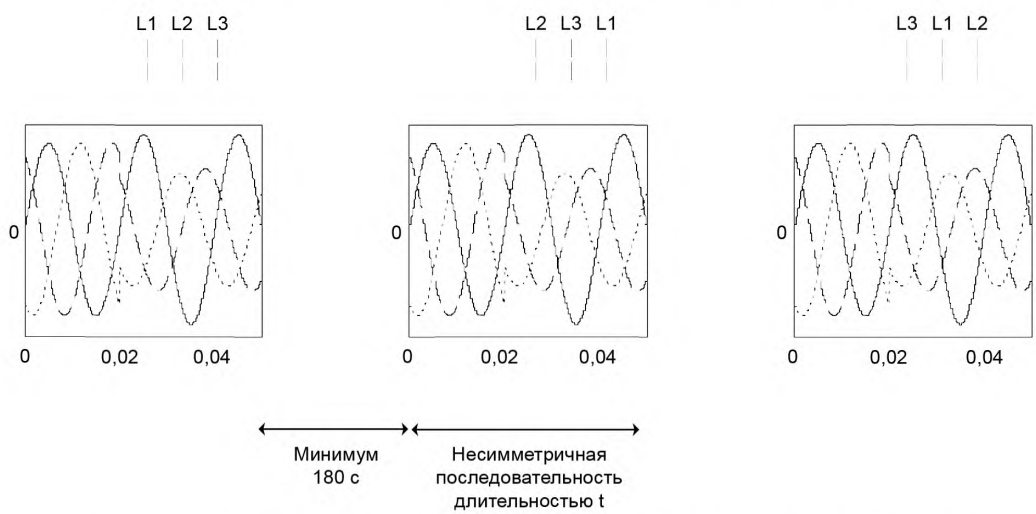


Рисунок 2 — Чередование трех несимметричных испытательных последовательностей (циклический сдвиг напряжений U_a, U_b и U_c)

Примечание — Рисунки 1, 2 применяют к системам 50 Гц.

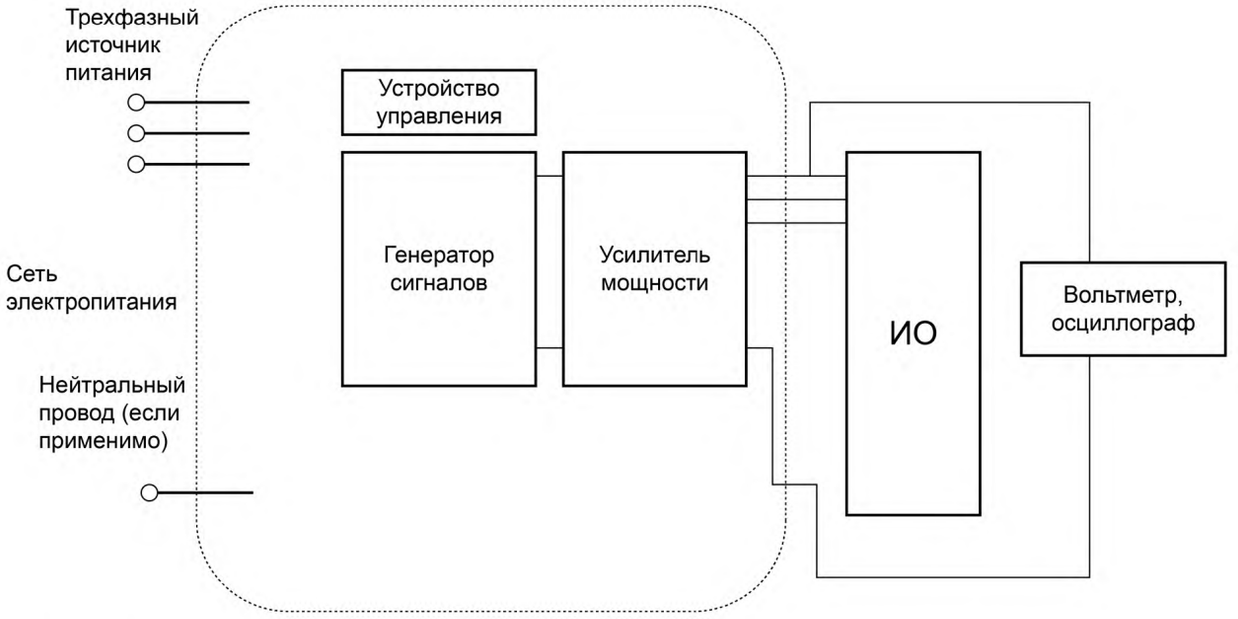
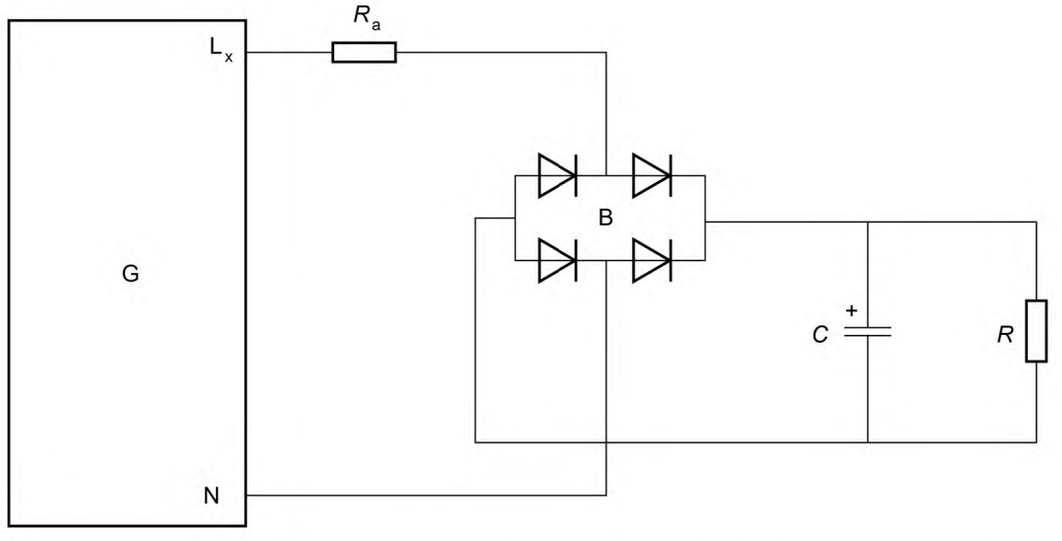


Рисунок 3 — Схема устройства испытательной установки для создания несимметричных напряжений



G — испытательный генератор; L_x — вывод фазного напряжения; *N* — нейтраль; *B* — мостовой выпрямитель; *C* — электролитический конденсатор 11000 мкФ ± 20 %; *R* — резистор 61 Ом ± 1 %; R_a — дополнительный резистор

Примечание — Значение R_a должно быть выбрано так, чтобы общее последовательное сопротивление (сумма сопротивлений дополнительного резистора R_a, сопротивления проводки R_{wire}, внутреннего сопротивления двух проводящих диодов R_{diodes} и внутреннего сопротивления конденсатора R_c) было 92 мОм ± 10 %.

Рисунок 4 — Пример проверочной нагрузки для испытательного генератора

Приложение А
(справочное)

Источники, воздействия и измерение несимметрии

А.1 Источники

Основной причиной несимметрии являются однофазные нагрузки.

В низковольтных сетях однофазные нагрузки почти исключительно подключены по схеме «фаза—нейтраль», но они распределены между тремя фазами более или менее равномерно. В сетях среднего напряжения и высоковольтных сетях однофазные нагрузки могут быть подключены по схеме «фаза—фаза» или «фаза—нейтраль». Значительными однофазными нагрузками являются, например, железнодорожные источники питания переменного тока или однофазные индукционные печи. Некоторые трехфазные нагрузки с несимметричным режимом работы, например дуговые печи, являются причиной несимметрии.

Высокие уровни несимметрии в течение коротких периодов времени, как правило, вызваны сбоями в сети. Эти сбои происходят в основном в сетях низкого напряжения, но могут также возникать в сетях среднего и высокого напряжения.

В зависимости от характеристик оборудования защиты и полного сопротивления сети эти сбои приводят к различным состояниям несимметрии, как показано в таблице 1 (см. раздел 5).

А.2 Воздействия

В условиях несимметрии полное сопротивление трехфазного асинхронного двигателя подобно его полному сопротивлению в момент пуска (низкое полное сопротивление), что приводит к очень большому пусковому току, до десяти раз превышающему установившийся ток. Следовательно, двигатель, функционирующий в условиях несимметричного питания, будет создавать несимметричные токи, степень несимметрии которых в несколько раз превышает степень несимметрии напряжений. В результате токи в трехфазных системах могут значительно различаться и увеличенный нагрев фаз(ы) с более высоким током будет лишь частично компенсирован уменьшением нагрева в других фазах. При повышении температуры может произойти отключение одной фазы, что может быстро привести к разрушению двигателя.

Двигатели и генераторы, в частности наиболее крупногабаритные и дорогостоящие, могут быть снабжены защитой для обнаружения указанного состояния и отключения машины. При достаточно высокой несимметрии напряжения однофазная защита может реагировать на несимметричные токи и отключать машину.

Многофазные преобразователи, в которых отдельные входные фазные напряжения по очереди вносят вклад в напряжение постоянного тока на выходе, также будут подвергаться воздействию несимметрии напряжений, вызывающей нежелательные пульсации на стороне постоянного тока и нехарактерные гармоники на стороне переменного тока.

Работа аппаратуры управления также может быть нарушена, особенно если в ее конструкции предусмотрено лишь симметричное питающее напряжение. Кроме того, датчики по экономическим причинам часто размещают лишь в одной или в двух фазах, и в результате возникают ошибки управления и регулирования, ведущие к возможному серьезному ухудшению функционирования.

А.3 Измерение

А.3.1 Симметричные составляющие

Представленный ниже метод симметричных составляющих относится к трехфазным системам, но применим также и к многофазным системам.

Трехфазная система электропитания считается несимметричной, если три смежных вектора, используемых для ее представления, например векторы напряжения или тока, отличаются значением, или когда углы сдвига фаз между последовательными векторами не равны 120°. Для анализа таких цепей при условиях несимметрии был принят метод симметричных составляющих, чтобы упростить и прояснить расчет нарушений несимметрии системы питания, несимметричных нагрузок и пределов устойчивости трехфазных энергосистем.

Этот метод приводит три связанных несимметричных вектора (U_a, U_b и U_c на рисунке А.1) к трем наборам симметричных векторов (U_{1a}, U_{1b}, U_{1c}; U_{2a}, U_{2b}, U_{2c}; U_{0a}, U_{0b}, U_{0c} на рисунке А.2). Три вектора каждого набора имеют одинаковое значение и расположены с фазовым сдвигом либо 0° [рисунок А.2с)], либо 120° [рисунки А.2а) и А.2b)]. Каждый набор векторов (например, U_{1a} U_{1b}, U_{1c}) является симметричной составляющей исходных несимметричных векторов и определяется как векторная система прямой, обратной или нулевой последовательности. Это относится как к вращающимся векторам, таким как напряжения или токи, так и к невращающимся векторным операторам, таким как полное сопротивление или полная проводимость. Нижеперечисленные примеры относятся к вращающимся векторам напряжения.

Приведенный ниже пример показывает несимметричные векторы с измененными амплитудами и фазами, характерными для состояния неисправности. При нормальных условиях эксплуатации системы, подверженной условиям несимметрии, напряжения U_0 и U_2, как правило, составляют небольшой процент U_N.

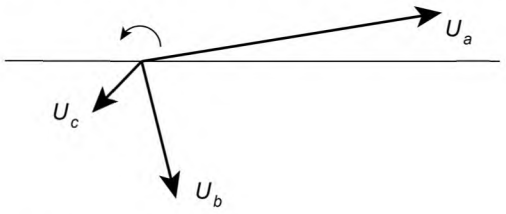
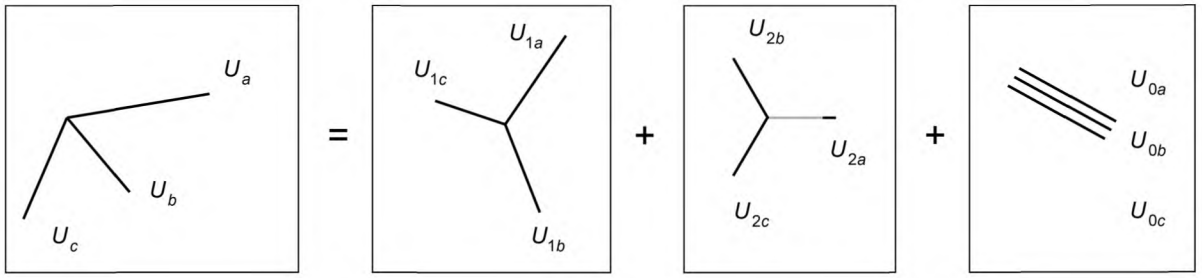


Рисунок А.1 — Несимметричные векторы напряжения



a) Прямая последовательность напряжений

b) Обратная последовательность напряжений

c) Нулевая последовательность напряжения

Рисунок А.2 — Составляющие несимметричных векторов на рисунке А.1

Три последовательности составляющих векторов имеют то же направление вращения, которое было принято для первоначальных несимметричных векторов (против хода часовой стрелки). Обратная последовательность не вращается в направлении, противоположном прямой последовательности, но чередование фаз в наборе обратной последовательности противоположно чередованию фаз в наборе прямой последовательности. Последовательностью фаз является порядок расположения максимальных значений во временной области.

А.3.2 Коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям

А.3.2.1 Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности

При получении симметричных составляющих из системы несимметричных напряжений степень несимметрии по обратной последовательности напряжений может быть определена с использованием отношения составляющей обратной последовательности напряжений к составляющей прямой последовательности. Это отношение обычно называют коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности

$$k_{u2} = U_2/U_1,$$

где U_2 — напряжение обратной последовательности;

U_1 — напряжение прямой последовательности.

Напряжения обратной последовательности значительно ослабляются при распространении от сетей с более низким напряжением к сетям с более высоким напряжением. В обратном направлении (т. е. от более высокого к более низкому напряжению) любое ослабление зависит от наличия трехфазных вращающихся машин, которые имеют симметрирующий эффект.

Напряжения обратной последовательности в основном образуются в результате действия в сети токов обратной последовательности, возникающих в несимметричных нагрузках.

А.3.2.2 Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности

Дополнительно может быть определена степень несимметрии напряжений по нулевой последовательности как отношение составляющей нулевой последовательности напряжений к составляющей прямой последовательности напряжений, т. е. коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности

$$k_{u0} = U_0/U_1,$$

где U_0 — напряжение нулевой последовательности;

U_1 — напряжение прямой последовательности.

Распространение несимметрии напряжений по нулевой последовательности предотвращают трансформаторами, включенными по схеме треугольника.

Напряжения нулевой последовательности в основном образуются в результате действия в сети токов нулевой последовательности, возникающих в несимметричных нагрузках. Они могут влиять на трехфазное оборудование, включенное по схеме «фаза—нейтраль», но не влияют на большинство трехфазного оборудования, включенного по схеме «фаза—фаза».

А.3.3 Рассмотрение измерения

Коэффициенты несимметрии напряжения должны быть измерены на основной частоте (50 или 60 Гц). В противном случае такой вклад в составляющую нулевой последовательности, как напряжение третьей гармоники, и/или в составляющую обратной последовательности, как напряжение пятой гармоники, может увеличить измеренное значение коэффициента несимметрии и, следовательно, привести к ошибке, так как эти вклады не вызывают такие же эффекты в оборудовании, как несимметрия напряжения основной частоты.

Приложение В
(справочное)

Расчет степени несимметрии

$U_1 \cdot \cos(\varphi_1) = U_N/3 \cdot [k_a \cdot \cos(\varphi_a) + k_b \cdot \cos(\varphi_b) + k_c \cdot \cos(\varphi_c)]$,

$U_1 \cdot \sin(\varphi_1) = U_N/3 \cdot [k_a \cdot \sin(\varphi_a) + k_b \cdot \sin(\varphi_b) + k_c \cdot \sin(\varphi_c)]$,

$U_2 \cdot \cos(\varphi_2) = U_N/3 \cdot [k_a \cdot \cos(\varphi_a) + k_b \cdot \cos(\varphi_b - 4\pi/3) + k_c \cdot \cos(\varphi_c - 2\pi/3)]$,

$U_2 \cdot \sin(\varphi_2) = U_N/3 \cdot [k_a \cdot \sin(\varphi_a) + k_b \cdot \sin(\varphi_b - 4\pi/3) + k_c \cdot \sin(\varphi_c - 2\pi/3)]$,

где k_a — процентная доля напряжения в фазе *a;*
φ_a — фазовый сдвиг фазы *a*;
k_b — процентная доля напряжения в фазе *b*;
φ_b — фазовый сдвиг фазы *b*;
k_c — процентная доля напряжения в фазе *c*;
φ_c — фазовый сдвиг фазы *c*.

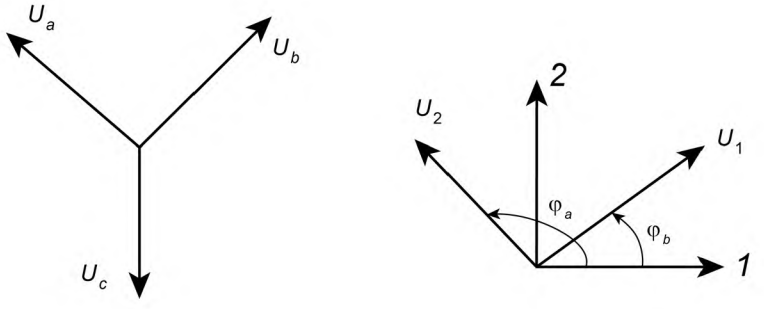
$U_a = k_a U_N \cdot \cos(\omega t + \varphi_a)$, $U_b = k_b U_N \cdot \cos(\omega t - 2\pi/3 + \varphi_b)$, $U_c = k_c U_N \cdot \cos(\omega t - 4\pi/3 + \varphi_c)$.

Прямая последовательность $U_1 = U_1 \cdot \cos(\varphi_1) + jU_1 \cdot \sin(\varphi_1)$.

Обратная последовательность $U_2 = U_2 \cdot \cos(\varphi_2) + jU_2 \cdot \sin(\varphi_2)$.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности

$$k_{u2} = \frac{|U_2|}{|U_1|} = \frac{\sqrt{(U_2 \cos(\varphi_2))^2 + (U_2 \sin(\varphi_2))^2}}{\sqrt{(U_1 \cos(\varphi_1))^2 + (U_1 \sin(\varphi_1))^2}}.$$



Примечание — Детальная информация приведена в Wagner, C.F., Evans, R.D. Symmetrical Components, издание R. KRIEGER.

Приложение С
(справочное)

Информация об испытательных уровнях

Несимметричные токи, генерируемые несимметричным напряжением, могут привести к серьезному повреждению электрического оборудования.

Относительно интенсивное искажение в трехфазной системе может произойти в течение короткого периода времени, особенно при возникновении короткого замыкания между двумя фазами. В этом случае очень высокое потребление тока вызовет значительное падение напряжения и фазовый сдвиг этих двух фаз. Данное состояние, как правило, длится до срабатывания автоматического выключателя.

Степень неисправности определяет значение несимметрии напряжения. Продолжительность состояния несимметрии соответствует времени реакции выключателя, которое обратно пропорционально степени неисправности.

Комплексным сопротивлением, используемым в IEC 60725, является Z_i = (0,24 + $j \cdot$ 0,15) Ом (для фазного провода). Характеристики автоматических выключателей (тип D) были выбраны в IEC 60898. Из указанных характеристик были рассчитаны соответствующие испытательные уровни.

Приложение D
(справочное)

Классы электромагнитной обстановки

В соответствии с IEC 61000-2-4 определены следующие классы электромагнитной обстановки:

Класс 1

Данный класс применяется к электромагнитной обстановке в защищенных системах электроснабжения и характеризуется более низкими уровнями электромагнитной совместимости, чем уровни электромагнитной совместимости в системах электроснабжения общего назначения. Класс 1 электромагнитной обстановки соответствует применению оборудования, восприимчивого к помехам в питающей сети, например контрольно-измерительного лабораторного оборудования, отдельных средств управления технологическими процессами и защиты, средств вычислительной техники некоторых видов и т. д.

Примечание — Класс 1 электромагнитной обстановки обычно соответствует применению оборудования, требующего защиты от помех с помощью систем бесперебойного питания (СБП), фильтров или устройств подавления сетевых помех.

В некоторых случаях для высокочувствительного оборудования могут потребоваться уровни совместимости ниже относящихся к классу 1 электромагнитной обстановки. Уровни совместимости при этом должны быть согласованы в зависимости от конкретного случая.

Класс 2

Данный класс обычно применяется к электромагнитной обстановке в точках общего присоединения и точках внутреннего присоединения для промышленных условий эксплуатации. Уровни электромагнитной совместимости данного класса идентичны уровням систем электроснабжения общего назначения. Поэтому оборудование, предназначенное для подключения к электрическим сетям общего назначения, допускается применять в условиях данного класса промышленной электромагнитной обстановки.

Класс 3

Данный класс электромагнитной обстановки применяется только к точкам внутреннего присоединения в промышленных условиях эксплуатации. Класс 3 электромагнитной обстановки имеет более высокие уровни электромагнитной совместимости, чем уровни для класса 2 в отношении электромагнитных помех некоторых видов. Электромагнитная обстановка должна быть отнесена к классу 3 в том более низкими случае, если имеет место любое из следующих условий:

- питание большей части нагрузки осуществляется через преобразователи;
- использование электросварочного оборудования;
- частые пуски электродвигателей большой мощности;
- резкие изменения нагрузок в электрических сетях.

Примечание 1 — Источники электропитания нагрузок, создающих значительные помехи, например дуговых печей и мощных преобразователей, питаемых, как правило, от отдельного фидера, часто подвержены помехам, превышающим уровни, соответствующие классу 3 (жесткая электромагнитная обстановка). В таких специальных случаях уровни электромагнитной совместимости должны быть согласованы между изготовителем и пользователем оборудования.

Класс электромагнитной обстановки для новых установок или модернизации существующих должен учитывать характеристики применяемого оборудования и рассматриваемого процесса.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование межгосударственного стандарта
IEC 60050-161	—	*[1)]
IEC 61000-2-4	IDT	ГОСТ IEC 61000-2-4—2014 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-4. Условия окружающей среды. Уровни совместимости в промышленных установках для низкочастотных кондуктивных помех»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать русскоязычную версию IEC 60050-161:1990 с Изменением 1 (1997 г.) и перевод на русский язык Изменения 2 (1998 г.), Изменения 3 (2014 г.), Изменения 4 (2014 г.) и Изменения 5 (2015 г.) указанного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:
- IDT — идентичный стандарт.

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50397—2011 (МЭК 60050-161:1990) «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения».

Библиография

IEC 60725 Considerations on reference impedances for use in determining the disturbance characteristics of household appliances and similar electrical equipment
(Анализ опорных сопротивлений для использования при определении характеристик помех для бытовых приборов и аналогичного электрического оборудования)

IEC 60898 Electrical accessories — Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations
(Электроустановочные изделия — Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков установок бытового и аналогичного назначения)

УДК 621.396/.397.001.4:006.354 МКС 33.100.20 IDT

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электрическое и электронное оборудование, помехоустойчивость, несимметрия напряжений, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, требования, методы испытаний

Редактор *В.С. Кармашев*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 28.10.2016. Подписано в печать 25.11.2016. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,52. Тираж 32 экз. Зак. 2966.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru